

(51) Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16  
6/22G 0 2 B 6/16  
6/22

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平9-531779  
 (86) (22) 出願日 平成9年(1997) 2月19日  
 (85) 翻訳文提出日 平成10年(1998) 8月24日  
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 9 7 / 0 2 5 4 3  
 (87) 国際公開番号 W O 9 7 / 3 3 1 8 8  
 (87) 国際公開日 平成9年(1997) 9月12日  
 (31) 優先権主張番号 6 0 / 0 1 2 , 1 2 4  
 (32) 優先日 1996年2月23日  
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)  
 (31) 優先権主張番号 0 8 / 7 7 0 , 4 0 2  
 (32) 優先日 1996年12月20日  
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 コーニング インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14831  
 コーニング リヴァーフロント プラザ  
 1  
 (72) 発明者 リュ, ヤンミン  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14845  
 ホースヘッズ グレンデイル ドライヴ  
 41  
 (74) 代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大有効面積単一モード光ガイド

(57) 【要約】

少なくとも4つの層分(26, 28, 30, 32, 36, 38, 40, 42)からなるコア屈折率プロファイルを有する単一モード光ガイドが開示される。本コア構造の主な特色は、少なくとも2つの隣接していないコア・プロファイル層分(26, 30, 36, 40)が正の $\Delta\%$ を有し、少なくとも2つの隣接していないコア・プロファイル層分(28, 32, 38, 42)が負の $\Delta\%$ を有することである。この新しい光ガイド・コア構造は、光増幅器を組み入れた高速度で再生器設置間隔が長いシステムに適した単一モード光ガイドを提供する。この光ガイド・コア構造はまた、分散が制御された光ガイド・ファイバの製造に適している。

## 【特許請求の範囲】

1. 光ガイド・ファイバの長軸中心軸の周りに対称に配置され、屈折率プロファイル、屈折率 $\Delta_i\%$ 、および外半径 $r_i$ （ここで $i$ は特定の層分を示す整数）を有する少なくとも4つの層分を含み、該層分が前記中心軸から1で始まり順次1から $n$ まで番号が付けられているガラス・コアと、

前記コア上に形成され、前記コアを取り囲む、屈折率 $n_c$ を有するガラス・クラッド層とを含み、

少なくとも2つの隣接していないコア層分が正の屈折率 $\Delta\%$ を有し、かつ少なくとも2つの隣接していないコア層分が負の屈折率 $\Delta\%$ を有しており、

前記各層分の前記外半径 $r_i$ および前記 $\Delta_i\%$ が、あらかじめ選択された波長範囲にわたり約 $0.03\text{ ps/nm}^2\text{-km}$ 以下の大きさを有する分散傾きと、 $60\text{ }\mu\text{m}^2$ より大きい有効面積を与えるように選ばれていることを特徴とする単一モード光ガイド・ファイバ。

2. 前記あらかじめ選択された波長範囲が約 $1450\text{ nm}$ から $1580\text{ nm}$ であることを特徴とする請求の範囲1記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

3. 前記正の $\Delta\%$ を有する少なくとも2つの層分が約 $0.1\%$ から $0.8\%$ の範囲の $\Delta\%$ を有し、前記負の $\Delta\%$ を有する少なくとも2つの層分が約 $-0.80\%$ から $0.1\%$ の範囲の $\Delta\%$ を有することを特徴とする請求の範囲1記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

4. 前記正の $\Delta\%$ を有する少なくとも2つの層分が、 $\alpha$ 乗プロファイル（ここで $\alpha$ は1から約6）、階段状屈折率プロファイル、丸みのついた階段状屈折率プロファイル、および台形プロファイルからなるグループから選ばれる屈折率プロファイル、かつ前記負の $\Delta\%$ を有する少なくとも2つの層分が、逆階段状プロファイル、丸みのついた逆階段状プロファイル、および逆台形プロファイルからなるグループから選ばれる屈折率プロファイルであることを特徴とする請求の範囲1記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

5. 前記ガラス・コアの第1層分の前記屈折率プロファイルは、前記光ガイドの中心軸から離れてある最大屈折率 $n_1$ であることを特徴とし、前記屈折率プロフ

ァイルは $n_i$ から中心軸の間で単調減少であり、中心軸の周りに実質的に逆円錐形の屈折率降下を形成しており、前記逆円錐が約 $2\mu\text{m}$ を超えない底面半径を有することを特徴とする請求の範囲4記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

6. 前記ガラス・コアが4つの層分を含み、 $\Delta_1\%$ および $\Delta_2\%$ が正、かつ $\Delta_1\%$ および $\Delta_2\%$ が負であることを特徴とする請求の範囲5記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

7.  $r_1$ が約3から $5\mu\text{m}$ の範囲にあり、 $r_2$ が約 $10\mu\text{m}$ 以下であり、 $r_3$ が約 $17\mu\text{m}$ 以下であり、 $r_4$ が約 $25\mu\text{m}$ 以下であって、かつ $r_1 > r_2 > r_3 > r_4$ であることを特徴とする請求の範囲6記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

8. 前記ガラス・コアがそれぞれ、約0.20%から0.70%の範囲の $\Delta_1\%$ 、約-0.80%から-0.15%の範囲の $\Delta_2\%$ 、約0.05%から0.20%の範囲の $\Delta_3\%$ 、および約-0.80%から-0.15%の範囲の $\Delta_4\%$ の、 $\Delta\%$ を有することを特徴とする請求の範囲7記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

9. 光ガイド・ファイバの長軸中心軸の周りに対称に配置され、屈折率プロファイル、屈折率 $\Delta_i\%$ 、および外半径 $r_i$ （ここで $i$ は特定の層分を示す整数）を有する少なくとも4つの層分を含み、該層分が前記中心軸から1で始まり順次1から $n$ まで番号が付けられているガラス・コアと、

前記コア上に形成され、前記コアを取り囲む、屈折率 $n_c$ を有するガラス・クラッド層とを含み、

少なくとも2つの隣接していないコア層分が正の屈折率 $\Delta\%$ を有し、かつ少なくとも2つの隣接していないコア層分が負の屈折率 $\Delta\%$ を有しており、

前記各層分の前記外半径 $r_i$ および前記 $\Delta_i\%$ が、

約 $1400\text{nm}$ から $1575\text{nm}$ の波長範囲にわたり、約 $0.03\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 以下の大きさを有する分散傾きと、

約 $1450\text{nm}$ から $1580\text{nm}$ に広がる動作波長範囲の外側にゼロ分散波長があり、

モード場直径が約 $9\mu\text{m}$ より大きく、

かつ、

ピン・アレイ曲げ誘起減衰が20dB以下

という機能特性を与えるように選ばれていることを特徴とする単一モード光ガイド・ファイバ。

10. 前記機能特性が、 $\Delta_1$  %の $\pm 3$  %の変動および結合半径の $\pm 1$  %の変動に対して比較的敏感ではないことを特徴とする請求の範囲9記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

11. 前記コア・プロファイルが、ファイバの長さにしたがって全分散があるあらかじめ選ばれた値に制御され得るように、ファイバの長さ方向に沿って調整されていることを特徴とする請求の範囲9記載の単一モード光ガイド・ファイバ。

## 【 発 明 の 詳 細 な 説 明 】

大 有 効 面 積 単 一 モ ー ド 光 ガ イ ド

## 発 明 の 背 景

本発明は、約 1500 nm から 1600 nm の波長範囲で動作する、長距離／高ビットレート・システムでの使用のために設計された単一モード光ガイド・ファイバに向けられたものである。とくに本発明の光ガイド・ファイバは、長距離通信信号を歪ませる非線型光学効果を低減させるため、動作波長範囲にわたり、大きな有効面積を有している。

大有効面積を有する単一モード光ガイドは、自己位相変調、4光子混合、混位相変調、および非線型散乱過程を含む、非線型光学効果を低減させてきた。前記効果は各々、高電力システムにおいて信号劣化の原因となる。

信号を劣化させる前記散乱過程は、一般に  $\exp(cP/A_{eff})$  項を含む方程式で表される。ここで  $c$  は定数、 $P$  は信号電力、また  $A_{eff}$  は有効面積である。残りの前記非線型効果は比  $P/A_{eff}$  を乗数として含む方程式で表される。よって、 $A_{eff}$  が大きくなれば光信号の前記劣化に寄与する前記非線型効果は低減する。

長距離通信工業における、再生器を用いない、長距離にわたる情報量の大容量化に対する要求から、単一モード・ファイバの屈折率プロファイル構造の再評価が行われてきた。

前記再評価は：

- － 上記のような、非線型効果を低減させる；
- － 減衰の小さい 1550 nm 近傍の動作波長範囲に対して最適化される；
- － 光増幅器の利得対波長曲線と調和する；

および

－ 低減衰、高強度、耐疲労性、および耐曲げ性のような光ガイドの望ましい特性を保持する、

光ガイドを提供することに集中してきた。

とくに 4 光子混合の低減に向けて付け加えられた要求は、おそらく前記光ガイ

ド・ファイバのゼロ分散波長を動作波長範囲の外側に置くことであろう。

これまでの研究は、米国特許出願第378,780号に開示されているように、米国特許第4,715,679号、Bhaagavatula、で最初に取り入れられた分割コア構造 (segmented core design) という基本概念から出発した。大有効面積光ガイドは、上に引用した米国特許出願第378,780号に開示された型のコア構造に対して発明された。クラッドの屈折率より低い最小の屈折率を有するコア領域を少なくとも1つ組み入れる独特な構造が前記出願に開示されている。

上述の構造概念を手掛かりにして、分割コア構造の特性を予言するモデルが、至高の性能を有する長距離通信システムに用いるに適した光ガイド・ファイバを特徴づける  $A_{eff}$  およびモード電力分布 (すなわち電場強度分布) を有するコア構造族を産みだすのに用いられた。この新しい大有効面積光ガイド族に向けられた仮出願書は、1995年11月9日に郵送された。

本出願は、米国特許出願第378,780号および1995年11月9日に郵送された前記仮出願に開示された研究成果の延長である。

本出願の新しいプロファイル構造族の独特な特徴は、大有効面積と主要な動作波長範囲にわたって全分散の傾きがゼロに近いことが一緒に達成されていることである。これにより、前記大有効面積による非線型信号劣化の低減だけでなく、前記主要な波長範囲にわたる線型分散の低減も得られる。

#### 定義

— 前記有効面積は

$$A_{eff} = 2\pi (\int E^2 r dr)^2 / (\int E^4 r dr)$$

である。ここで積分範囲は0から $\infty$ 、Eは伝搬光にともなう電場である。

有効直径、 $D_{eff}$ は、

$$D_{eff} = 2 (A_{eff} / \pi)^{1/2}$$

で定義される。

— モード場面積、 $A_m$ は、 $\pi (D_m / 2)^2$ である。ここで  $D_m$  は、 $2W = D_m$ 、 $W^2 = (2 \int E^2 r dr / \int [dE/dr]^2 r dr)$  の、ピーターマンII法を用いて測定

した前記モード場の直径である。ここで積分範囲は0から $\infty$ までである。

— $\alpha$ 乗プロファイルは、

$$n = n_0 (1 - \Delta (r/a)^\alpha)$$

である。ここで $n_0$ は前記 $\alpha$ 乗屈折率プロファイル中の最大屈折率であり、 $\Delta$ は以下で定義され、 $r$ は半径、また $a$ は前記 $\alpha$ 乗屈折率プロファイルの始点から終点までを計測した半径である。 $\alpha$ 乗屈折率プロファイルの前記 $n_0$ 点において $r$ を0に選ぶことができる、すなわち前記プロファイルの始点を前記光ガイドの中心軸からの実効距離と解釈できる。1に等しい $\alpha$ を有する $\alpha$ 乗プロファイルは3角形である。 $\alpha$ が2のとき、前記屈折率プロファイルは放物線である。 $\alpha$ の値が2より大きくなり約6に近づくと、前記屈折率プロファイルはもうほとんど階段状屈折率プロファイルになる。真の階段状屈折率プロファイルは無限大の $\alpha$ で表されるが、 $\alpha$ が約4から6であれば事実上、階段状屈折率プロファイルである。

—屈折率プロファイル層分 (segment) の幅は、屈折率—半径図の水平軸に対して前記屈折率プロファイルの前記始点および終点のそれぞれから引かれた2本の垂直線の間の距離である。

—%指数 $\Delta$ は、

$$\% \Delta = [(n_1 - n_0) / 2 n_1] \times 100$$

である。ここで $n_1$ はコアの屈折率、 $n_0$ は前記クラッドの屈折率である。とくに別記しない限り、 $n_1$ は% $\Delta$ で表した前記コア領域の前記最大屈折率である。

—屈折率の0基準は、前記クラッドガラス層内の最小屈折率が選ばれる。前記コア内で該最小値より屈折率が小さい領域は、負の値が与えられる。

—一般に屈折率プロファイルは、形状の異なる関連実効屈折率プロファイルを有する。実効屈折率分布は、前記光ガイドの性能を変更することなく該関連屈折率

プロファイルの代わりに用いられる。参考文献、“単一モードファイバ光学”、マーセル・デッカー・インク、リュク・ビー・ジョーノム、1990、32ページ、第1.3.2節を参照されたい。

—曲げ性能は、光ガイド・ファイバを心型 (mandrel) の周りに巻きつけることにより誘起される減衰を測定する標準試験法により定められる。該標準試

験は、32mm径の心型周りのファイバ1巻きにより作られる曲がり、および75mm径の心型周りのファイバ100巻きによる曲がりが原因で光ガイド・ファイバ中に誘起される減衰の測定である。最大許容曲げ誘起減衰は、通常1300nm近傍および1550nm近傍の動作波長範囲で規定される。

一別の曲げ試験は、光ガイド・ファイバの曲げに対する相対耐性の比較に用いられるピン・アレイ曲げ試験である。本試験を行うには、実質的に曲げ損失のない状態で光ガイド・ファイバの減衰損失を測定する。次いで前記光ガイド・ファイバを前記ピン・アレイの周りに編んで再び減衰を測定する。曲げにより誘起される損失は、測定された2つの減衰の差である。前記ピン・アレイは一行に並べられ、平坦な表面の決められた位置に垂直に支えられた円筒形のピン10本のセットである。前記ピンの間隔は中心間で5mmである。前記ピンの直径は0.67mmである。試験中、前記光ガイド・ファイバを前記ピンの表面の一部分に合致させるに十分な張力が加えられる。

一屈折率プロファイルの $\Delta_i\%$ におけるパーセント偏差は、いかなる $\Delta_i\%$ も、与えられたパーセントにより、個々にまたは共同して変わり得ることを意味する。

一結合半径におけるパーセント偏差は、コアの全半径における変化、 $\Delta r$ が各コア部の半径間で比例配分されることを意味する。

#### 発明の概要

本発明は、比較的大きな有効面積と、拡張された動作波長範囲にわたって実質的に平坦な分散傾き、すなわち約 $0.03 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$ 以下の大きさの分散傾きという利点を同時に提供する単一モード光ガイド・ファイバに対する要求を満たす。

本発明の第1の発明は、少なくとも4つの層分を含むガラスコアを有する単一モード光ガイドである。各層分は屈折率プロファイル、外半径 $r_i$ 、および $\Delta_i\%$ により特徴づけられる。 $r$ および $\Delta$ の添字は各々の層分に対応する。前記層分は、光ガイドの長軸の中心軸を含む最内層分に始まって $n$ まで番号が付けられる。屈折率 $n_i$ を有するクラッド層が前記コアを取り囲んでいる。前記コアは、各々が正の $\Delta\%$ を有する互いに接触していない2つの層分と、さらに各々が負の $\Delta\%$



を有する互いに接触していない2つの層分を有する。該基本コア構成を用いれば、実質的に平坦な全分散曲線、すなわち、あらかじめ主要な波長範囲にわたって約  $0.03 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$  ないしそれ以下の傾きをもつ曲線、および少なくとも  $60 \mu\text{m}^2$  の有効面積を提供する、 $\Delta_i\%$  と  $r_i$  のセットがいくつか見いだされる。該コア構成を有するコア構造のいくつかでは、前記有効面積は  $70 \mu\text{m}^2$  より大きい。

本発明の第1の特徴の好ましい実施の形態は、約  $1450 \text{ nm}$  から  $1580 \text{ nm}$  の波長範囲にわたり、実質的に0の分散傾きを与える。上記範囲は、 $1450 \text{ nm}$  近傍の低減衰領域およびエルビウム光増幅器の高利得波長範囲を含む。

前記  $\Delta\%$  が正の2つの互いに接触していない層分に対する望ましい  $\Delta_i\%$  は、約  $0.1\%$  から  $0.8\%$  の範囲である。前記  $\Delta\%$  が負の2つの層分に対しては、望ましい  $\Delta_i\%$  は  $-0.8\%$  から  $-0.15\%$  の範囲である。

前記  $\Delta\%$  が正の層分の好ましい屈折率プロファイルは、約1から6の範囲の  $\alpha$  を有する  $\alpha$  乗プロファイル、階段状プロファイル、丸みのついた階段状プロファイル、および台形プロファイルからなるグループから選ばれる。前記  $\Delta\%$  が負の層分の好ましい屈折率プロファイルは、逆台形プロファイル、逆階段状プロファイル、および丸みのついた逆階段状プロファイルからなるグループから選ばれる。ある特定のプロファイルにおいて、 $\Delta\%$  が負の1つの層分がたとえば逆台形プロファイルをもてば、 $\Delta\%$  が負のもう1つの層分は丸みのついた逆階段状屈折率プロファイルをもつことは明らかである。少なくとも4つの層分の屈折率プロファイル

からなる組合せおよび順列の数は極めて大きい。よって實際上、前記要求される光ガイド・ファイバ特性を与えるコア屈折率プロファイルの探索は、コンピュータ・モデルを用いて行われる。

中心軸上のドーバント拡散は、逆円錐形をした中心屈折率降下を生じさせる。また、ドーバント濃度が急激に変化する位置における拡散は、階段状屈折率プロファイルの肩に丸みを帯びさせる。前記モデルは、ドーバントの外方拡散 (out-diffusion) により生じるいかなる屈折率プロファイル変化も実質

的に考慮するように設計されている。代表的な中心拡散降下は、底面の半径が約  $2\ \mu\text{m}$  を超えない、逆円錐形である。

最も望ましい実施の形態では、層分 1 および 3 が正の  $\Delta\%$  を有し、層分 2 および 4 が負の  $\Delta\%$  を有している。上述したように、前記層分は前記光ガイドの軸の前記長対称軸を含む前記層分に対する 1 に始まって順次番号がつけられている。本実施の形態における半径には、 $r_1$  は約 3 から  $5\ \mu\text{m}$  の範囲、 $r_2$  は約  $10\ \mu\text{m}$  を超えない範囲、 $r_3$  は約  $17\ \mu\text{m}$  を超えない範囲、また  $r_4$  は約  $25\ \mu\text{m}$  を超えない範囲という制限がある。本実施の形態の前記層分の各々の  $\Delta\%$  にも、 $\Delta_1\%$  は約 0.20% から 0.70% の範囲、 $\Delta_2\%$  および  $\Delta_3\%$  は約 -0.80% から -0.15% の範囲、また  $\Delta_4\%$  は約 0.05% から 0.20% という制限がある。

前記コア設計モデルは 2 つの方法で用いられる：

— 構造パラメータ、すなわち層分の数およびコア層分の相対位置、各層分の前記屈折率プロファイル形状、および各層分の前記対応する  $\Delta_i\%$  および前記  $r_i$  を入力し、入力された構造に関する前記光ガイド・パラメータを計算する；  
または、

— 特性パラメータ、すなわち遮断波長、ゼロ分散波長、全分散の傾き、有効面積、モード場直径、動作波長範囲、および光ガイドの曲げ誘起減衰を入力し、前記の特性を与える構造族を計算する。

よって、本発明の第 2 の特徴を、少なくとも 4 つの層分を有する光ガイド・ファイバとして主張することが妥当である。互いに接触していない 2 つの層分が正の  $\Delta\%$  を有し、互いに接触していない 2 つの層分が負の  $\Delta\%$  を有している。前記各々の層分の前記  $r_i$  および  $\Delta_i\%$  は：

— 約  $1400\ \text{nm}$  から  $1575\ \text{nm}$  の波長範囲にわたり、約  $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$  以下の大きさである全分散の傾き；

— 前記動作範囲の外側、すなわち約  $1200\ \text{nm}$  から  $1500\ \text{nm}$  または約  $1575\ \text{nm}$  より大きい（上限は前記動作波長範囲において要求される分散の大きさにより定められる。ほとんどの例では、上限は約  $1750\ \text{nm}$  である）範

囲、におけるゼロ波長分散；

— 約  $9\ \mu\text{m}$  より大きいモード場直径；

および、

—  $20\ \text{dB}$  以下のピン・アレイ曲げ誘起減衰、

により特徴づけられる光ガイドを与えるように選ばれる。

本発明の第 2 の発明に述べられる、光ガイド族の顕著な特質は、製造の容易さである。とくに、前記光ガイドは、表 1 の算出されたパラメータで示されるように、 $\Delta_1\%$  の  $\pm 3\%$  の変動、および前記結合半径の  $\pm 1\%$  の変動にはそれほど敏感ではない。

本発明のコア構造族の前記および他の特徴および利点は、さらに以下の図面を用いて開示され記述される。

#### 図面の簡単な説明

図 1 a および 1 b は、本発明の 1 実施例の 4 層分コア屈折率プロファイルの一般形を示すグラフである。

図 2 a および 2 b は、本発明の 1 実施例の 4 層分コア屈折率プロファイルの特定の例を示すグラフである。

図 3 は、本発明の光ガイド・ファイバの代表的な全分散特性曲線を示すグラフである。

図 4 は、本発明のコア・プロファイル構造族のサブセットについて、ある波長範囲にわたり  $D_{\text{eff}}$  を  $\text{MFD}$  と比較するグラフである。

図 5 a、図 5 b、および図 5 c は、本発明のコア屈折率プロファイルをもつ前記層分の半径または屈折率の変動に対する全分散の感度を示すグラフである。

#### 発明の詳細な説明

1 ギガビット／秒ないしそれ以上の伝送速度と共に、 $100\ \text{km}$  を上回る再生器間隔を当然必要とする通信システムは、通常光増幅技術または波長分割多重技術を利用する。よって光ガイド・ファイバ製造者は、より高電力の信号、または多重システムで起こり得る 4 光子混合、による非線型効果の影響をより受けにくい光ガイドを設計しなければならなかった。適当な光ガイド・ファイバは低線型

分散に加えて低減衰でなければならないことは明らかである。さらに、前記光ガイド・ファイバは、波長分割多重化に適合するため、とくに広い波長範囲にわたって前記の特性を発揮しなければならない。

比較的製造が容易であり、分散の制御が可能な光ガイド構造は、コストが低く、融通性が高くなるので歓迎される。ここに述べられる構造は、全分散が正と負の値の間で切り換わるように、光ガイド・ファイバの長さ方向に沿って前記光ガイドの分散を変化させるような分散制御法に十分に適している。

本出願の本発明の層分化されたコア構造は前記要求特性を満たす。

前記コア屈折率プロファイルの一般的なグラフが、光ガイドの半径に対して描かれた $\Delta\%$ を示す図 1 a および図 1 b に表されている。図 1 a および図 1 b は別々の 4 つの層分のみを示しているが、前記要求特性は 4 つより多い層分を有するコアを作成することにより満足され得ることは明らかである。しかし、有する層分が少ないほど実施の形態は通常製造しやすくなり、ゆえに望ましい。

本発明の光ガイド・ファイバの屈折率プロファイル構造の特質は、正の $\Delta\%$ を有し互いに接触していない層分 4 および 8 と、負の $\Delta\%$ を有し互いに接触していない層分 2 および 6 である。前記 $\Delta\%$ が正および負の層分どうしは少なくとも 1

つの層分で隔てられている。前記各層分の屈折率プロファイルは、前記光ガイド・ファイバの要求特性を与えるコア構造になるように調整される。

破線 10, 12, および 14 は、本発明の光ガイド・コアを構成する前記層分の内の 3 層分の別の屈折率プロファイル形状を示す。前記各層分の外半径 5, 7, 9, および 11 も、前記光ガイド・ファイバの要求特性を与えるコア構造になるように変えられる。層分の数、層分のプロファイル形状、層分の $\Delta\%$ 、および半径という変数が与えられれば、前記設計問題はコンピュータ・モデルを用いて極めて容易に処理される。こうしたモデルの基本的な原理は米国特許出願第 3 23, 795 号で論じられている。

図 1 b は、別種の本発明の前記光ガイド・ファイバを示す。この場合、前記 $\Delta\%$ が正の層分、16 および 20 が第 1 および第 3 層分である。第 2 および第 4 層分、18 および 22 は、負の $\Delta\%$ を有している。図 1 a および図 1 b の、それぞ

れ直線 3 および 2 1 は、前記各層分の前記  $\Delta\%$  特性の計算に用いられる前記クラッド層の屈折率を示す。

#### 実施例 1 - 4 層分構成の実例

図 2 a のグラフは、4 層分、2 6, 2 8, 3 0, および 3 2 を有する本発明の光ガイド・コアの実施の 1 形態である。各層分は丸みのついた階段状のプロファイル形状を有する。前記階段状プロファイルの各コーナー部の丸みは、前記中心軸屈折率降下 2 4 と同様に、前記光ガイド・ファイバの製造中のドーバント拡散によるものである。たとえばドーピング（ドーバント添加）工程において、上記拡散を補償することは可能であるが、不必要であることが多い。

図 2 a によれば、層分 2 6 の  $\Delta_1\%$  はほぼ 0.39%、層分 2 8 の  $\Delta_1\%$  はほぼ -0.25%、層分 3 0 の  $\Delta_1\%$  はほぼ 0.12%、層分 3 2 の  $\Delta_1\%$  はほぼ -0.25% である。各層分のそれぞれの外半径は、最内層分から始めて順次外側に向かって、約  $4\mu\text{m}$ 、約  $6.5\mu\text{m}$ 、約  $15\mu\text{m}$ 、および約  $22\mu\text{m}$  である。

本コア構造は；

- モード場直径：  $9\mu\text{m}$ ；
- $D_{eff}$ ：  $9.3\mu\text{m}$ ；
- $A_{eff}$ ：  $68\mu\text{m}^2$ ；
- 遮断波長：  $1400\text{nm}$ ；
- ビン・アレイ誘起曲げ損失：  $20\text{dB}$ ；

および、

- 全分散傾き：  $0.03\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$  以下

という特性を有する光ガイド・ファイバを与える。

#### 基準実施例 2 - 4 層分構成の実例

図 2 b のグラフは、4 層分、3 6, 3 8, 4 0, および 4 2 を有する本発明の光ガイド・コアの実施の 1 形態である。各層分は丸みのついた階段状のプロファイル形状を有する。上記したように、前記階段状プロファイルの各コーナー部の丸みは、前記中心軸屈折率降下と同様、前記光ガイド・ファイバの製造中のドーバント拡散によるものである。

図2bによれば、層分36の $\Delta$ ,%はほぼ0.40%、層分38の $\Delta$ ,%はほぼ-0.25%、層分40の $\Delta$ ,%はほぼ0.12%、層分42の $\Delta$ ,%はほぼ-0.25%である。各層分のそれぞれの外半径は、最内層分から始めて順次外側に向かって、約4 $\mu$ m、約6.5 $\mu$ m、約15 $\mu$ m、および約23.5 $\mu$ mである。

図2bの前記屈折率プロファイルの、図2aの前記屈折率プロファイルとの構造上の差は実質的に、前記負の $\Delta$ %の値の絶対値が小さく、かつ前記コアの全半径が1ないし2 $\mu$ m大きくなっていることであることに注目されたい。

本コア構造は；

- モード場直径：9.2 $\mu$ m；
- $D_{eff}$ ：9.6 $\mu$ m；
- $A_{eff}$ ：72 $\mu$ m<sup>2</sup>；
- 遮断波長：1404nm；
- ビン・アレイ誘起曲げ損失：12dB；

および、

- 全分散傾き：0.03ps/nm<sup>2</sup>-km以下

という特性を有する光ガイド。ファイバを与える。

本基準実施例において遮断波長はやや大きくなっているだけであるが、耐曲げ性は劇的に改善され、 $A_{eff}$ は約6%大きくなっている。性能が改善された光ガイドの生産に結びつく前記構造の変更は、前記 $\Delta$ %が負の層分における $\Delta$ %の増加および前記全半径の増加である。 $A_{eff}$ と耐曲げ性の増加が同時に達成され得ることは、本発明のコア屈折率プロファイル構造の強靱性を示すものである。

本発明のコア屈折率プロファイル構造の特色である、前記全分散曲線46が、図3に示されている。前記曲線の平坦性の高い領域44は、約1400nmから1570nmの波長範囲にわたっている。よって、本動作波長領域においては、非線型分散効果は前記有効面積の増加により抑制される。また線型分散も、前記動作波長にわたって全分散の大きさが低くいままであることにより抑制される。

本発明のコア構造のサブセットの有利な特性は、図4に示されている。前記有

効直径48は、少なくとも1200nmから1800nmの波長範囲にわたり、前記モード場直径より大きい。 $A_{eff}$ が大きくなるほど、単位面積あたりの信号電力を低減できるので、非線型効果を抑制できる。モード場直径が小さくなるほど、前記信号電力の内放射される部分より導波される部分が多くなるので、耐曲げ性が良くなる。本発明の光ガイド・ファイバ・コアの本特徴が、非線型効果を抑制し、同時に前記光ガイド内部に光信号をうまく閉じ込め、よって耐曲げ性を向上させている。

全分散の全半径対波長における変化に対する前記相対不感受性が、図5aに示されている。曲線54は、結合半径が $r$ のコアについての基準曲線である。曲線58は、コアの結合半径が、前に定義されているように、 $r$ より1%大きい光ガイド・ファイバの前記全分散曲線である。曲線56は、コアの結合半径が $r$ より1%小さい場合の前記全分散曲線である。曲線56および58の基準曲線54に対する前記偏差が約 $2 \text{ ps/nm-km}$ を超えないことに注目されたい。

前記層分のいずれかまたは全てにおける屈折率変化に対する全分散の前記相対不感受性が、図5bに示されている。曲線60は基準曲線である。曲線64および62は、前記屈折率がそれぞれ3%および-3%変化した場合の全分散を表している。ここでやはり、曲線64および62は、基準曲線60から約 $2 \text{ ps/nm-km}$ より大きくは異なっていない。

表1に、結合半径が $\pm 1\%$ 変化し、同時に屈折率が $\pm 3\%$ 変化したときの、主要な光ガイド・ファイバ・パラメータの平均と標準偏差が挙げてある。基準プロフィールは実質的に基準実施例2で与えられたプロフィールである。

表 1

	平 均	標準偏差	基 準
$\lambda_0$ nm	1 5 8 1. 7	2 0	1 5 8 0
D 1 5 5 0 ps/nm-km	- 1. 1	1. 2 3	- 1. 0
モード場直径 $\mu$ m	9. 1 5	0. 1 9	9. 2
遮断 $\lambda$ nm	1 4 7 0	2 1	1 4 6 0
曲げ損失 dB	2 1. 1	7. 5	1 2

目標値からの偏差が小さいことがわかり、前記コア構造が、光ガイド・ファイバ・コア・構造における前記規定された変化に対して比較的安定な光ガイド・ファイバ特性を与えることを示している。

全分散の符号を変える前記半径の変動は、図 5 a と関連して図 5 c に示されている。

前と同様に、曲線 5 4 が基準全分散曲線である。結合半径の 1. 5 % の変化は、曲線 6 8 を与える。結合半径の 2. 5 % および 4. 5 % の変化は、それぞれ曲線 6 6 および 7 0 を与える。よって本発明のコア構造は、分散を制御した光ガイド・ファイバの製造に容易に適用できる。前記ファイバの長さ方向に沿った半径の周期的変化は前記全分散の前記符号の周期的変化をもたらし、よって前記光ガイド・ファイバに沿った各点における全分散の大きさはゼロではないにもかかわらず、前記光ガイド・ファイバの全長に対する前記全分散は実質的にゼロになり得

る。上記全分散制御は、全ファイバ長にわたる全分散を非常に小さく維持したまま、基本的に 4 光子混合を除去する。

本発明の個々の実施の形態がここに開示され記述されているが、それにもかかわらず本発明は以下の請求の範囲によってのみ限定される。



【 图 1 】

图 1 a

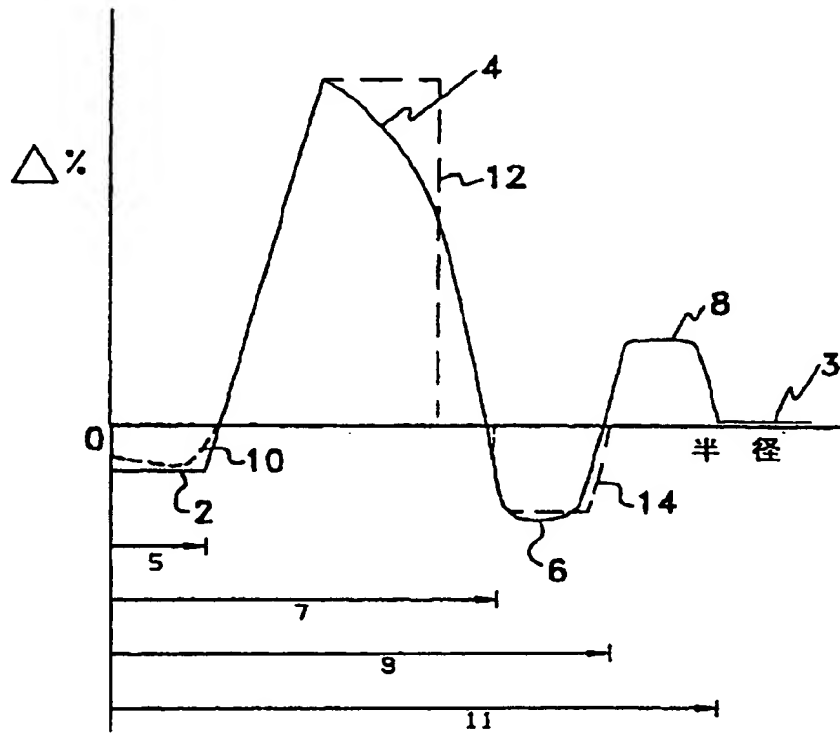
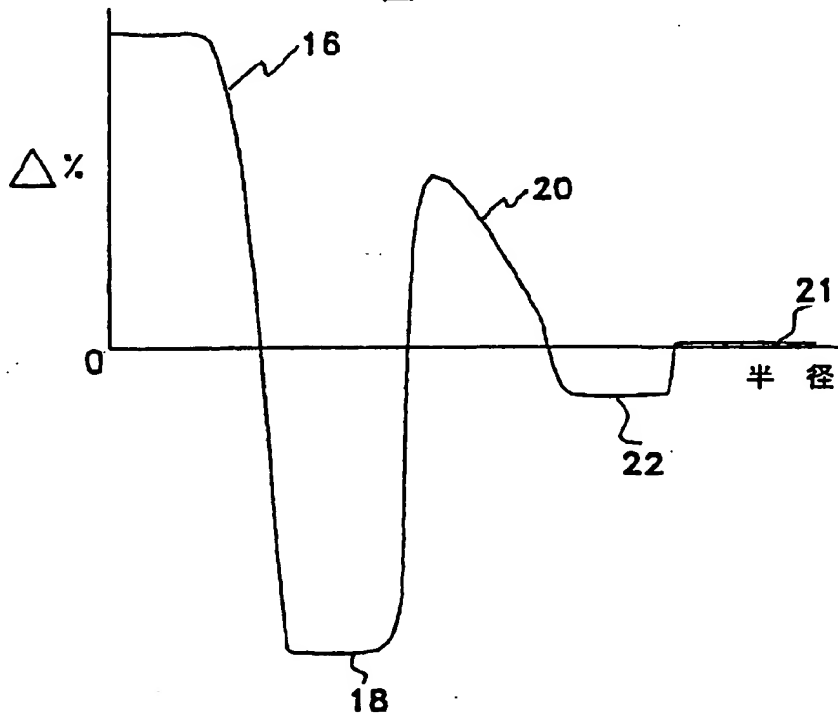


图 1 b



【 図 2 】

図 2 a

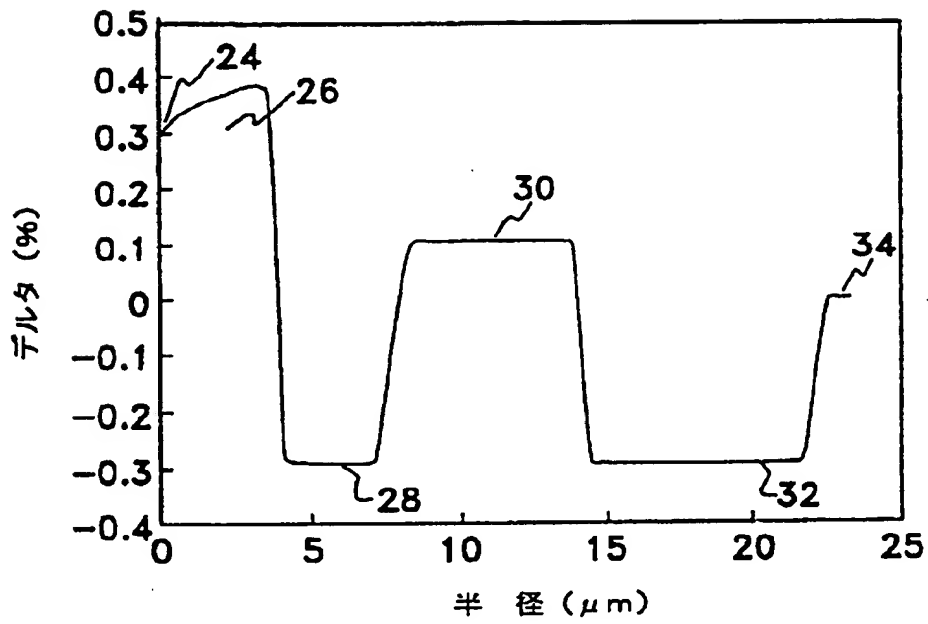
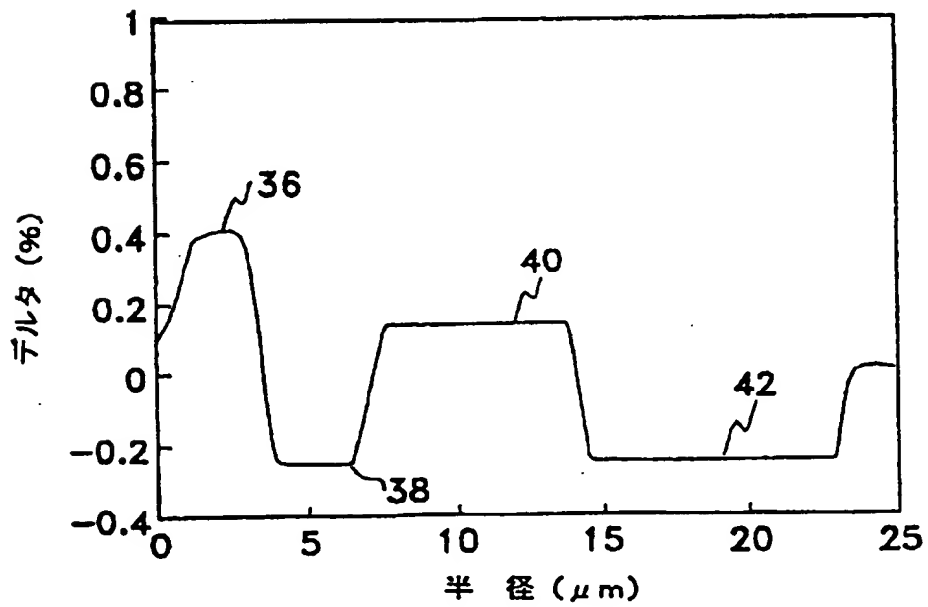
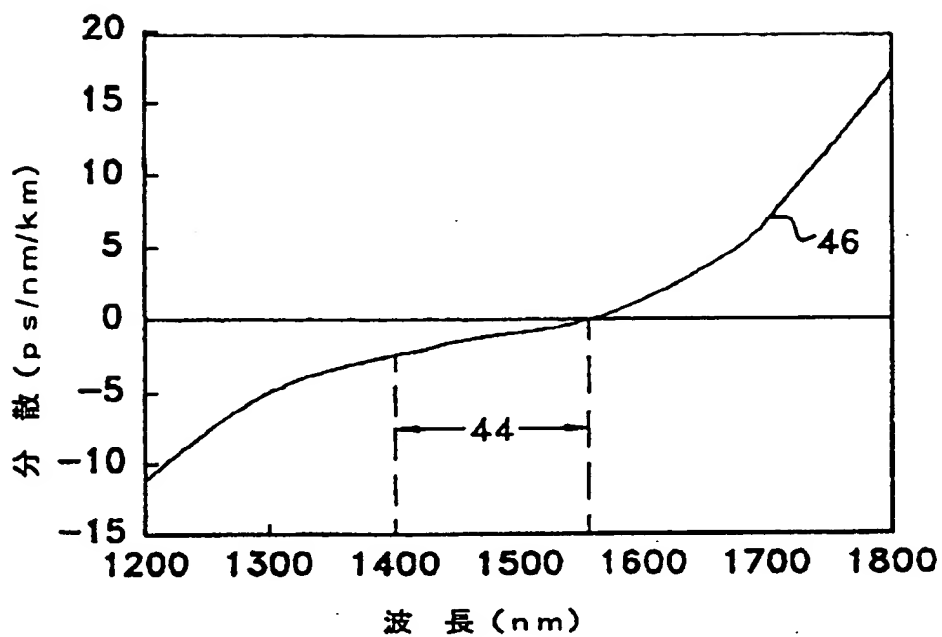


図 2 b



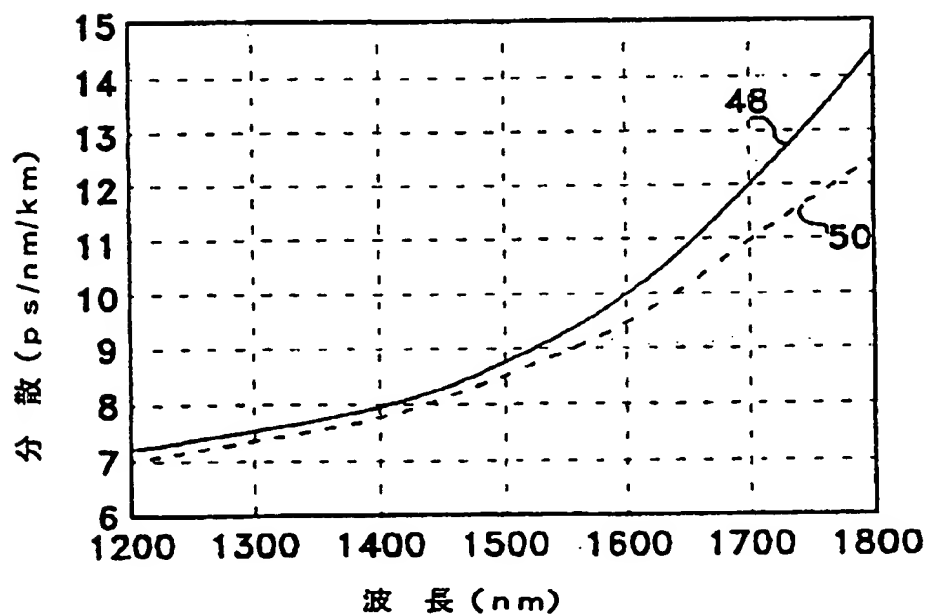
【 图 3 】

图 3



【 图 4 】

图 4



【 图 5 】

图 5 a

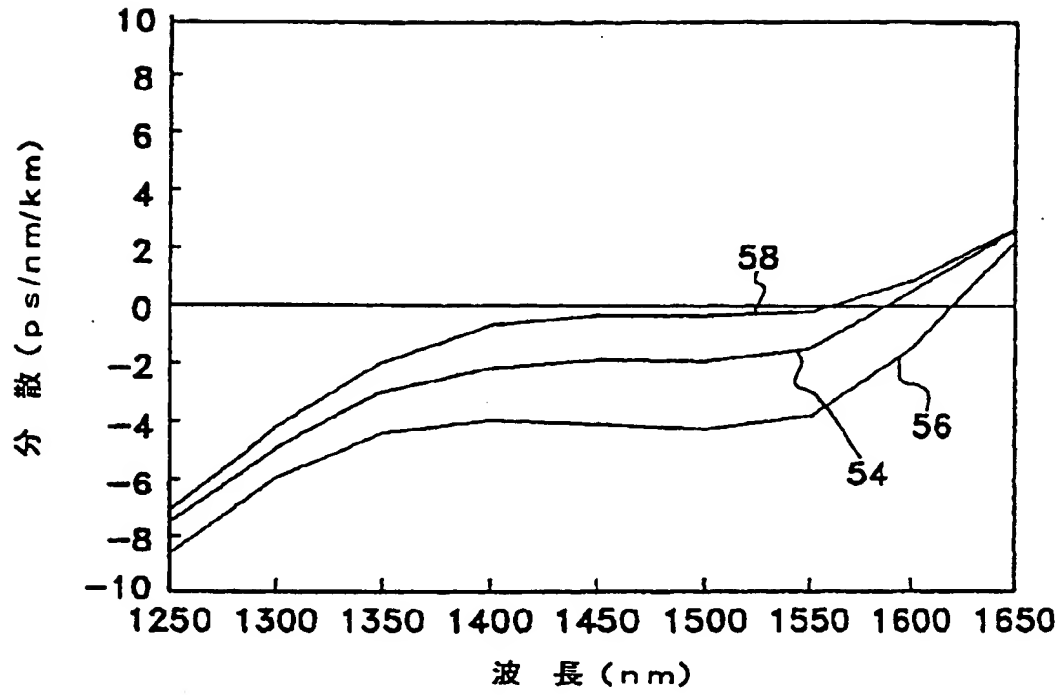
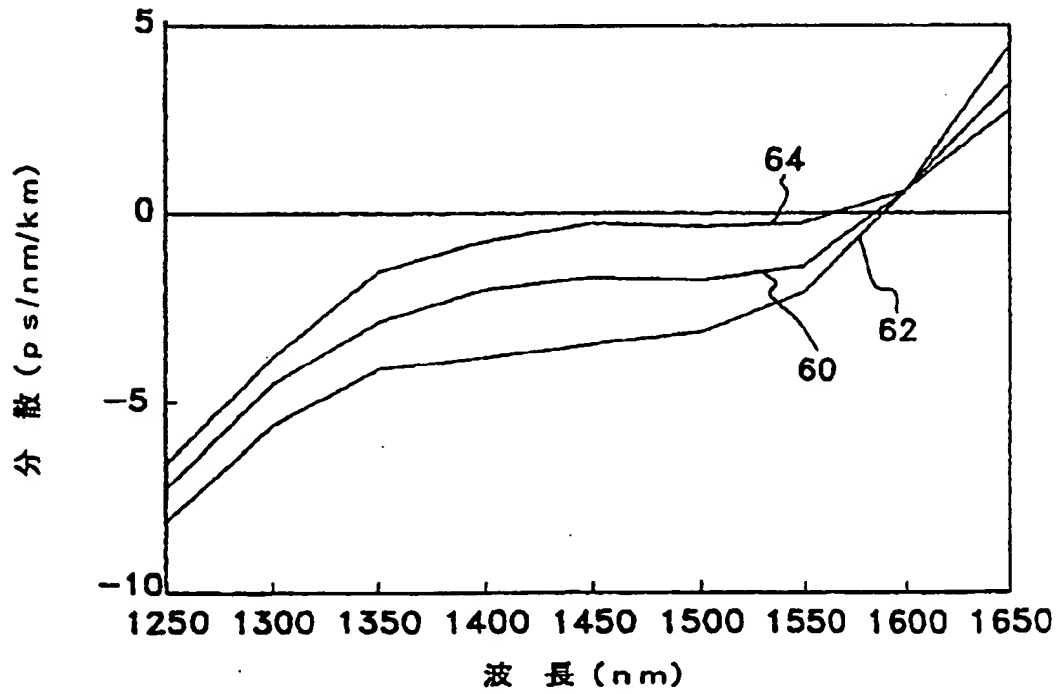
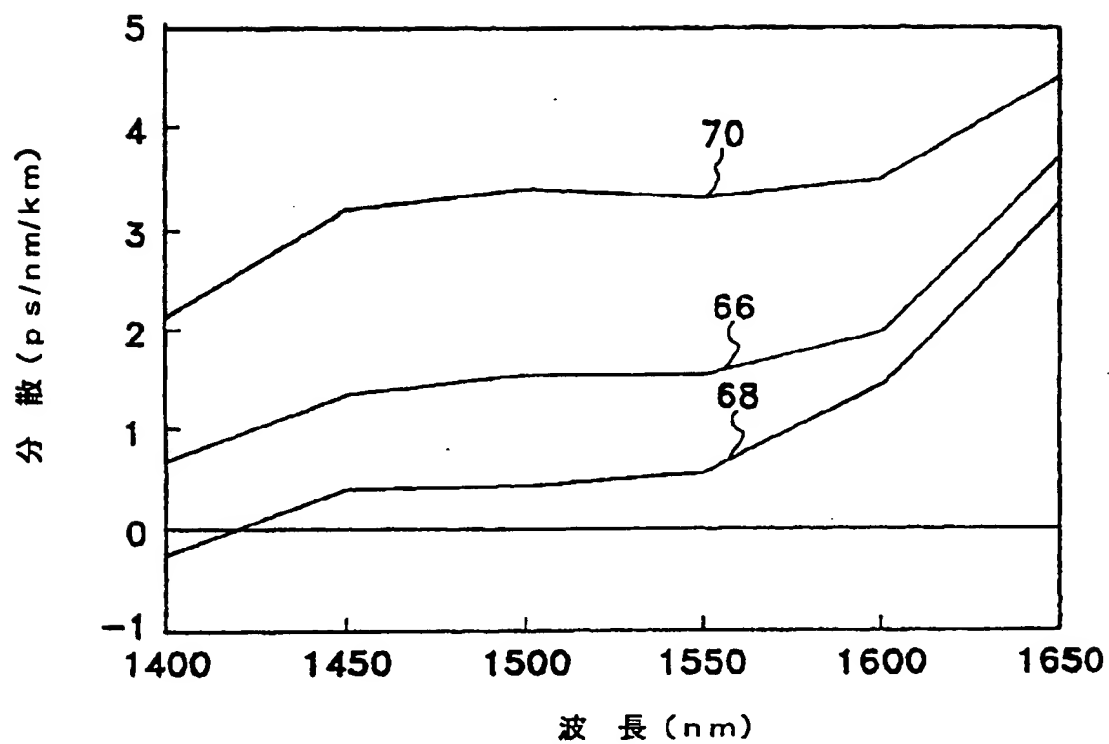


图 5 b



【 図 5 】

図 5 c



## [ 国际调查报告 ]

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US97/02543

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(6) : G02B 6/22

US CL : 385/127, 124

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 385/122, 123, 124, 126, 127, 128

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

APS. Search terms: core, segments, dispersion.

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4,715,679 A (BHAGAVATULA) 29 December 1987 (29/12/87), see the entire document.	1 and 9
A	US 4,852,968 A (REED) 01 August 1989 (01/08/89), see the entire document.	1 and 9
A	US 4,770,492 A (LEVIN et al) 13 September 1988 (13/09/88), see the entire document.	1 and 9
A	US 5,363,463 A (KLEINERMAN) 08 November 1994 (08/11/94), see the entire document.	1 and 9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* "A"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier document published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other cited documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"Z"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search

05 AUGUST 1997

Date of mailing of the international search report

05 SEP 1997

Name and mailing address of the ISA/US  
Commissioner of Patents and Trademarks  
Box PCT  
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3230

Authorized officer

JOHN NGO

Telephone No. (703) 308-0297

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)\*

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, L  
U, MC, NL, PT, SE), AU, BR, CA, C  
N, JP, KR, RU, UA